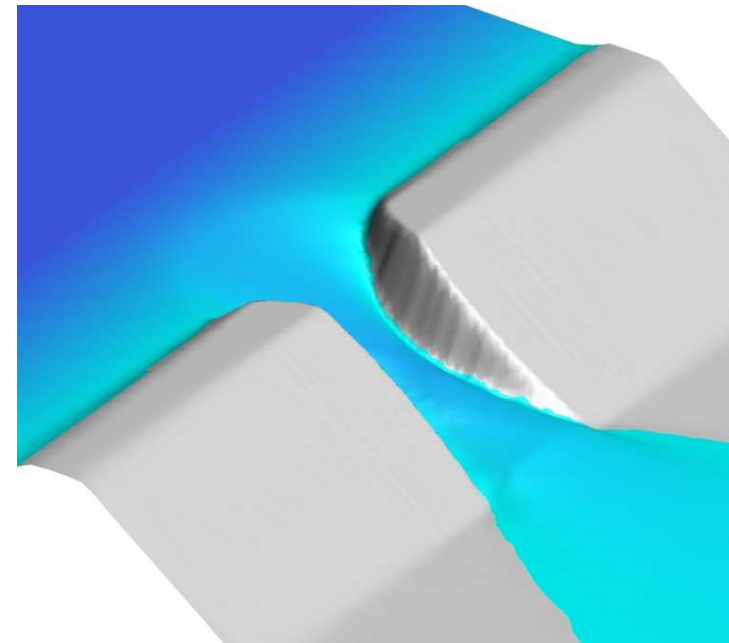


Bestimmung des Breschenabflusses bei progressivem Dammbruch an kleinen Stauhaltungen



Lukas Vonwiller, Samuel Peter, David Vetsch, Robert Boes
Bern, 11.03.2015

Inhalt

1. Einleitung
2. Numerisches Model *BASEMENT*
3. Parametermodel *BASEbreach*
4. Weiterentwicklung *BASEbreach*
5. Schlussfolgerung

Einleitung

- Grosse Anzahl kleiner Stauhaltungen in der Schweiz
 - Alleine im Kt. Zürich ca. 300 Anlagen, überwiegend mit homogenen Erdschüttdämmen
- Geltungsbereich der Stauanlagengesetzgebung aufgrund Grössenkriterium und Gefährdungskriterium



Abb. Beispiele kleiner Stauhaltungen im Kt. Zürich (Photos: Pöyry 2009)

Gefährdungskriterium

Gefahrenbeurteilung basiert auf Abschätzung des besonderen Gefährdungspotentials (BFE 2014)¹ :

1. Bestimmung maximaler Breschenabfluss bzw. Abflussganglinie
 - Annahme plötzlicher Dammbruch mit standardisierter Breschenform und Breschengrösse (Standardbresche)
 - Annahme progressive Breschenbildung, falls mit wissenschaftlich fundierter Methode begründbar
2. Berechnung der Flutwellenausbreitung
3. Beurteilung der Gefährdung von Mensch und Infrastruktur

→ **Aufgezeigtes Vorgehen befasst sich ausschliesslich mit 1. Schritt**

¹ BFE, Bundesamt für Energie (2014). *Stauanlagenrichtlinie*. Richtlinie über die Sicherheit der Stauanlagen, Teil B: Besonderes Gefährdungspotential als Unterstellungskriterium, Bern.

Standardbresche

- Trapezförmige Bresche mit Basisbreite B_B entsprechend der zweifachen Stauhöhe und seitliche Böschungen von 1:1
- Maximaler Breschenabfluss $Q_{B,max}$ ausschliesslich abhängig von der Stauhöhe h_w

$$Q_{B,max} = 2.58 h_w^{2.5}$$

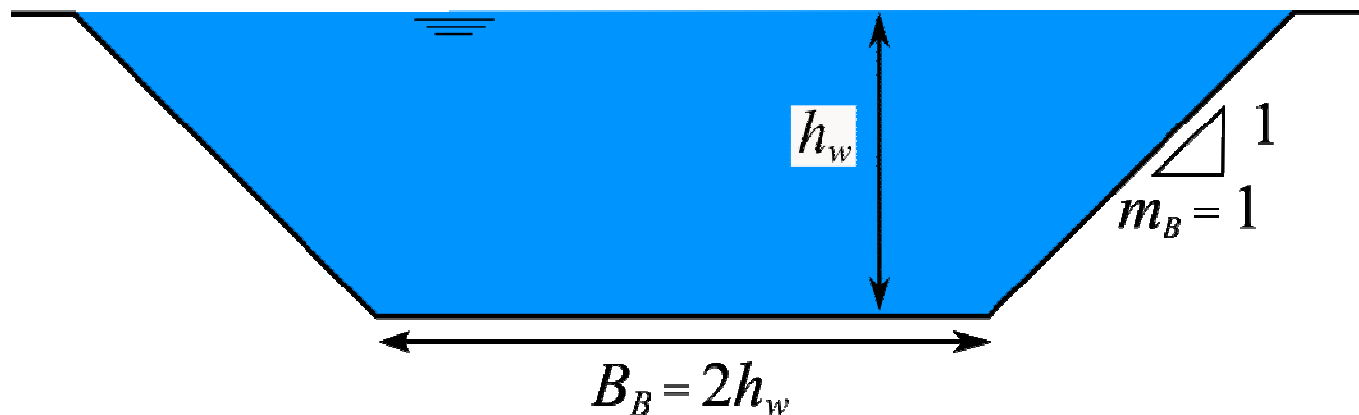
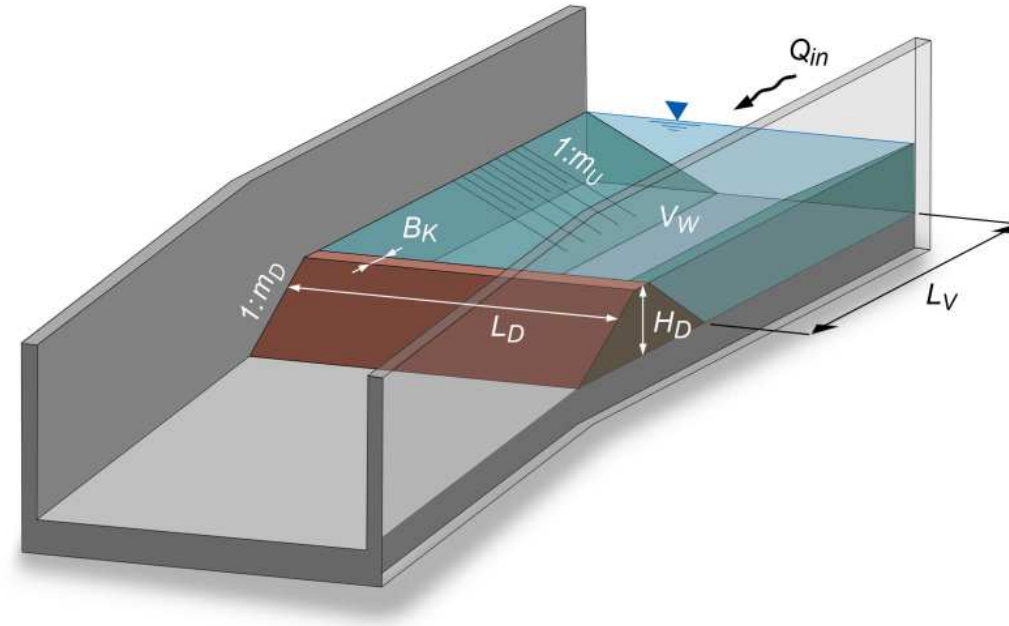


Abb. Definition der Standardbresche

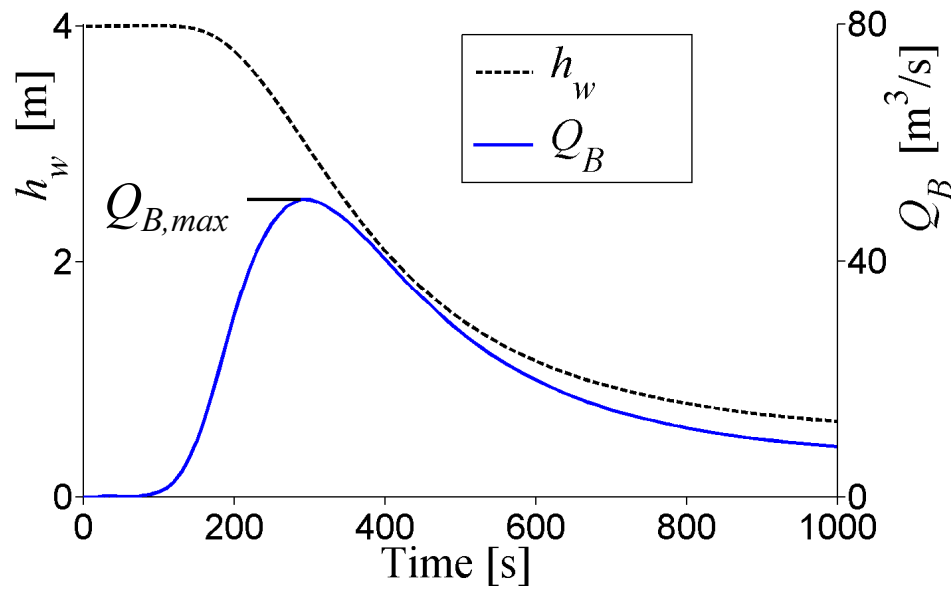
Numerische Modellierung mit *BASEMENT*

Massgebende Einflussgrößen:

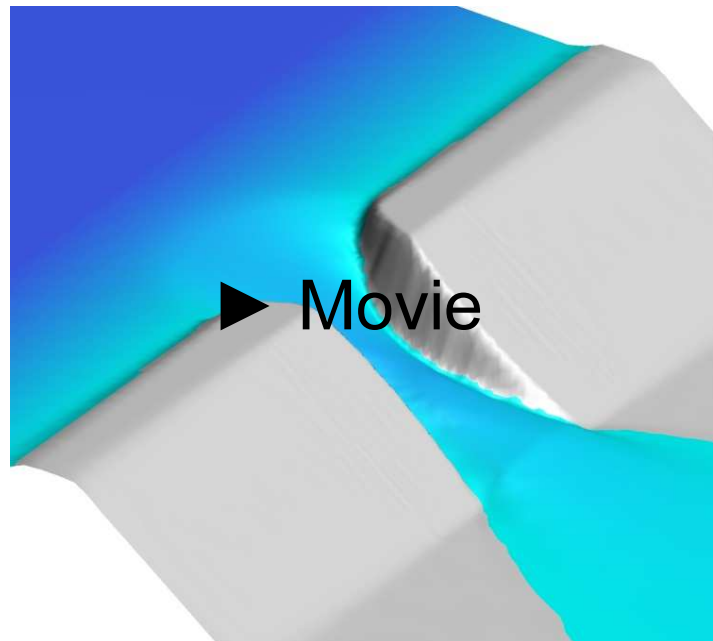
- Stauvolumen V_w
- Dammhöhe H_D
- Dammkronenbreite B_K
- Dammböschungsneigung m_D
- Form der Stauhaltung $L_D:L_V$, m_U
- Zufluss Q_{in}
- Dammmaterial d_m
- Erodierbarkeit des Dammmaterials



Numerische 2D-Modellierung - Beispiel



- $V_w = 20'000 \text{ m}^3$
- $h_w = 4 \text{ m}$
- $B_K = 2 \text{ m}$
- $Q_{in} = 6 \text{ m}^3/\text{s}$



Sensitive Einflussgrößen (I)

- Einfluss Stauvolumen V_w und Dammhöhe H_D (Stauhöhe bei Überströmung) auf maximalen Breschenabfluss $Q_{B,max}$

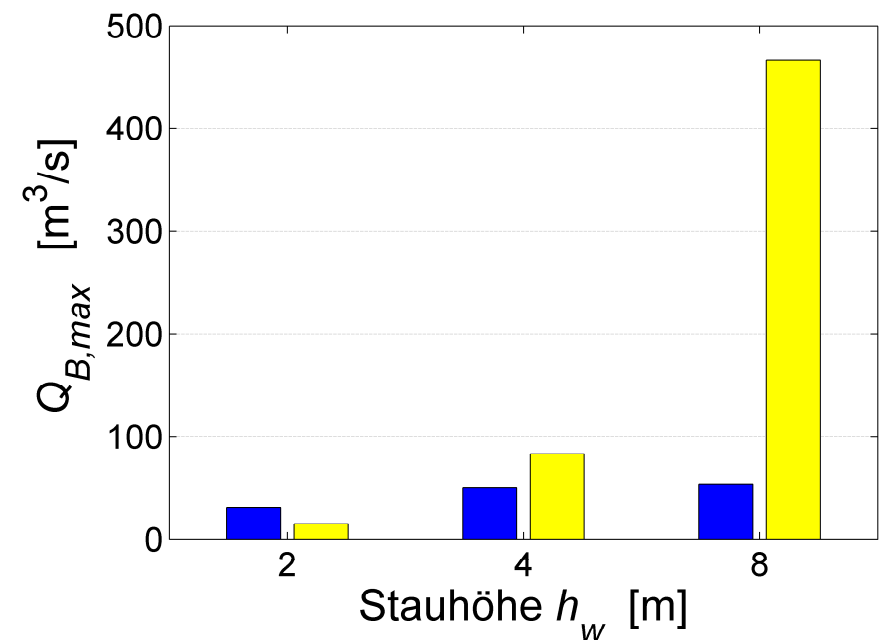
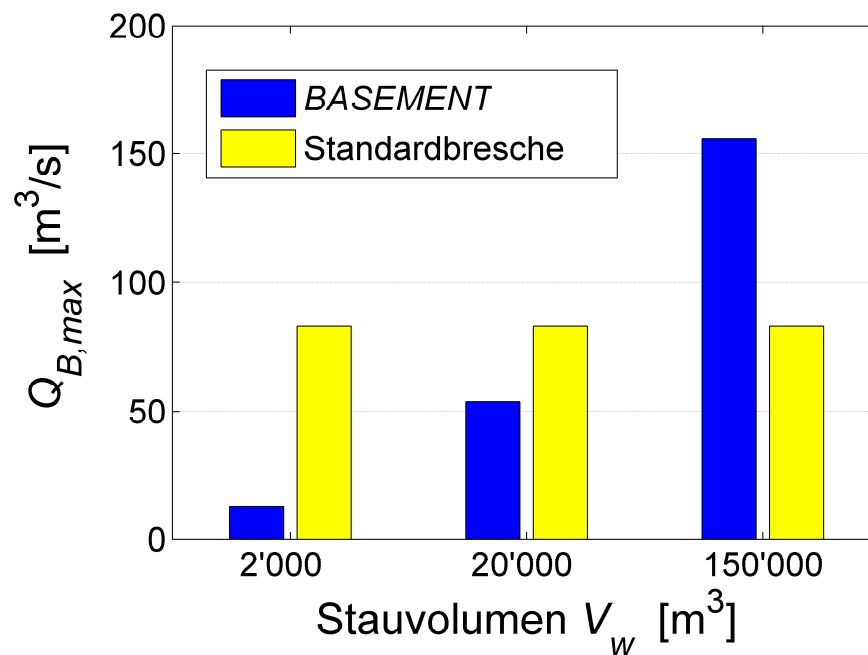


Abb. Einfluss Stauvolumen V_w (links) und Dammhöhe H_D (Dammhöhe = Stauhöhe h_w bei Überströmung, rechts) auf maximalen Breschenabfluss $Q_{B,max}$

Sensitive Einflussgrössen (II)

- Grosser Einfluss des Stauvolumens V_w
- Mittlerer Einfluss des Dammvolumens (abhängig von H_D , B_K , m_D) und der Uferböschungen im Reservoir

Tab. 1. Sensitivität der Parameter im Vergleich zwischen dem numerischen 2D-Modell und bei Annahme einer Standardbresche.

Grosser Einfluss: Gruppe 1 (rot), Mittlerer Einfluss: Gruppe 2 (orange),
Geringer Einfluss: Gruppe 3 (weiss)

Parameter	Num. 2D-Modell $\max(Q_{B,max,BM}) / \min(Q_{B,max,BM})$	Standardbresche $\max(Q_{B,max,SB}) / \min(Q_{B,max,SB})$
Stauvolumen V_w	15.2	1.0
Dammhöhe H_D	1.8	31.1
Dammkronenbreite B_K	1.6	1.0
Dammböschungsnegung m_D	1.55	1.0
Uferböschungen im Reservoir m_U	1.05-1.3	1.0
Korndurchmesser d_m	1.08	1.0
Zufluss Q_{in}	1.05	1.0
Breschenböschungswinkel β_u	1.03	1.0
Grundrissform der Stauhaltung $L_D:L_V$	1.02	1.0

Parametermodell *BASEbreach*

- Basiert auf Macchione (2008)²
- Modellparameter:
 - Speicherinhaltslinie (Beziehung Stauvolumen-Stauhöhe):

$$V_w = b_0 z_w^{\alpha_0} \quad (1 \leq \alpha_0 \leq 4)$$
 - Breschenböschungswinkel β_o bzw. β_u
 - Erosionsgeschwindigkeit v_e (Kalibrierungsparameter)
- Berechnung mit *BASEbreach* effizienter als mit *BASEMENT*
- *BASEbreach* kalibriert anhand *BASEMENT*-Resultaten

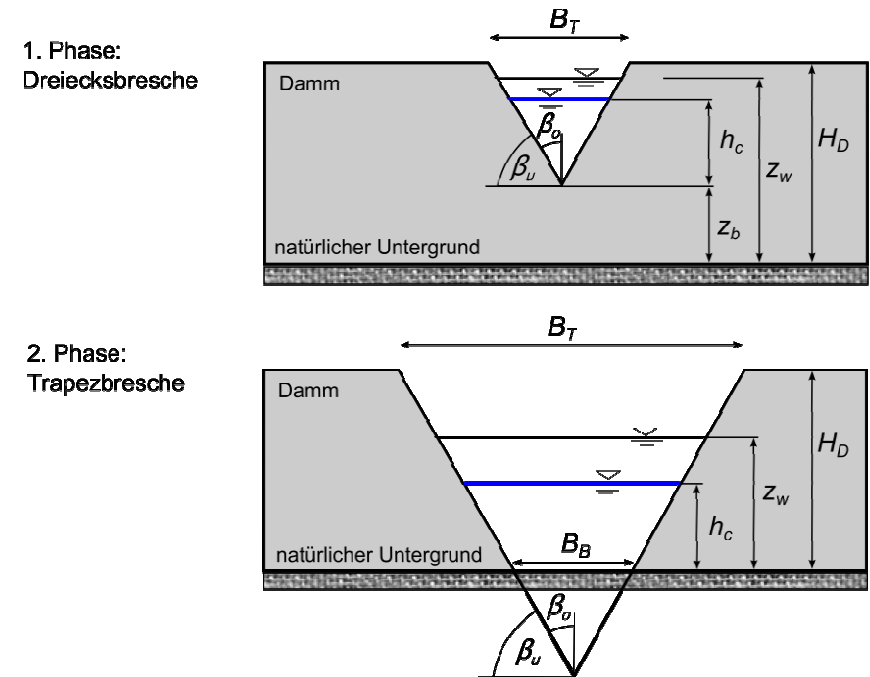


Abb. Breschenentwicklung in *BASEbreach*, adaptiert nach Macchione (2008)²

² Macchione, F. (2008). Model for predicting floods due to earthen dam breaching. I: Formulation and evaluation. *Journal of Hydraulic Engineering*, **134**(12), 1688-1696.

Resultate *BASEbreach*

Vergleich *BASEbreach* mit *BASEMENT* und Standardbresche

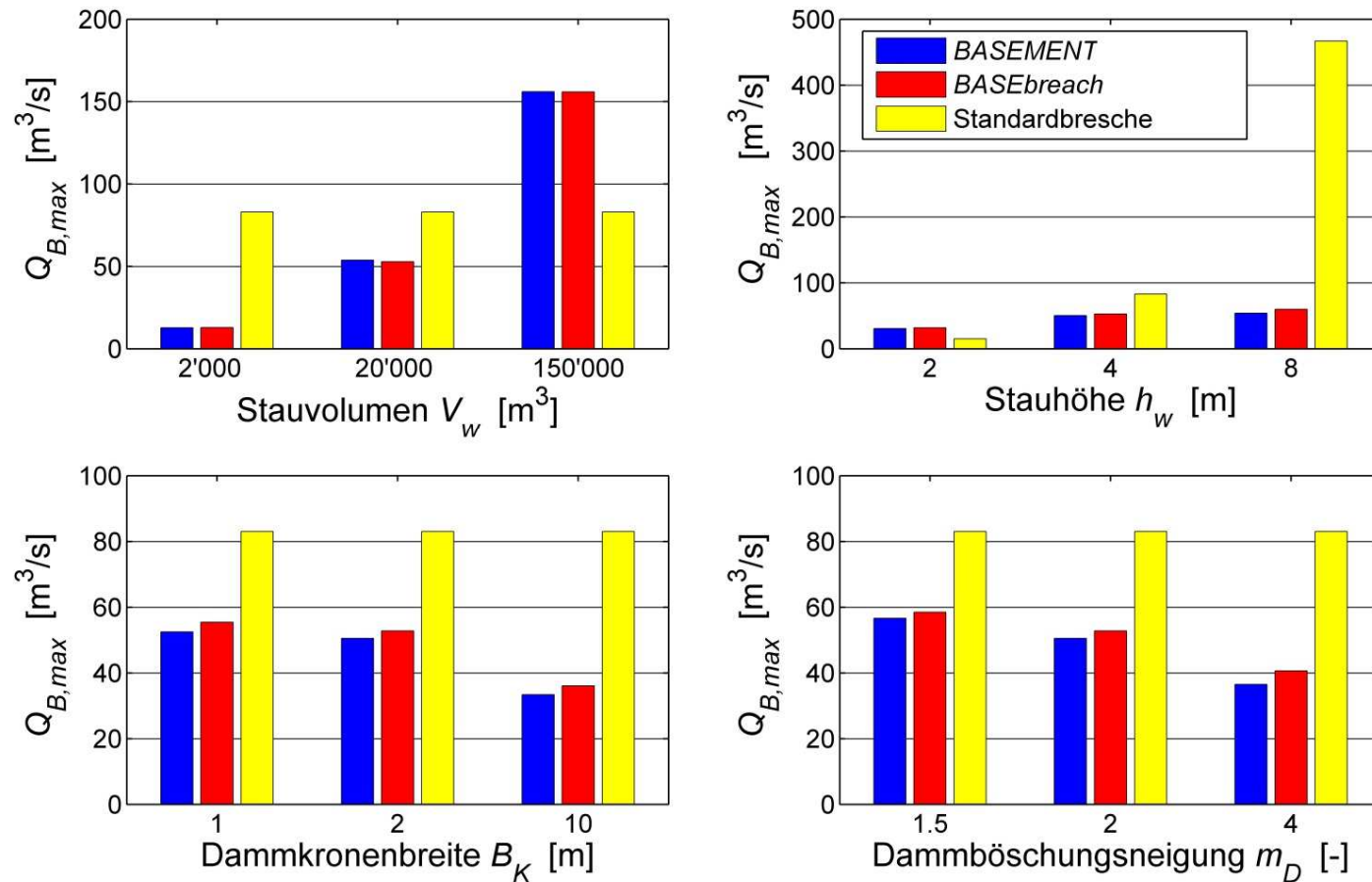
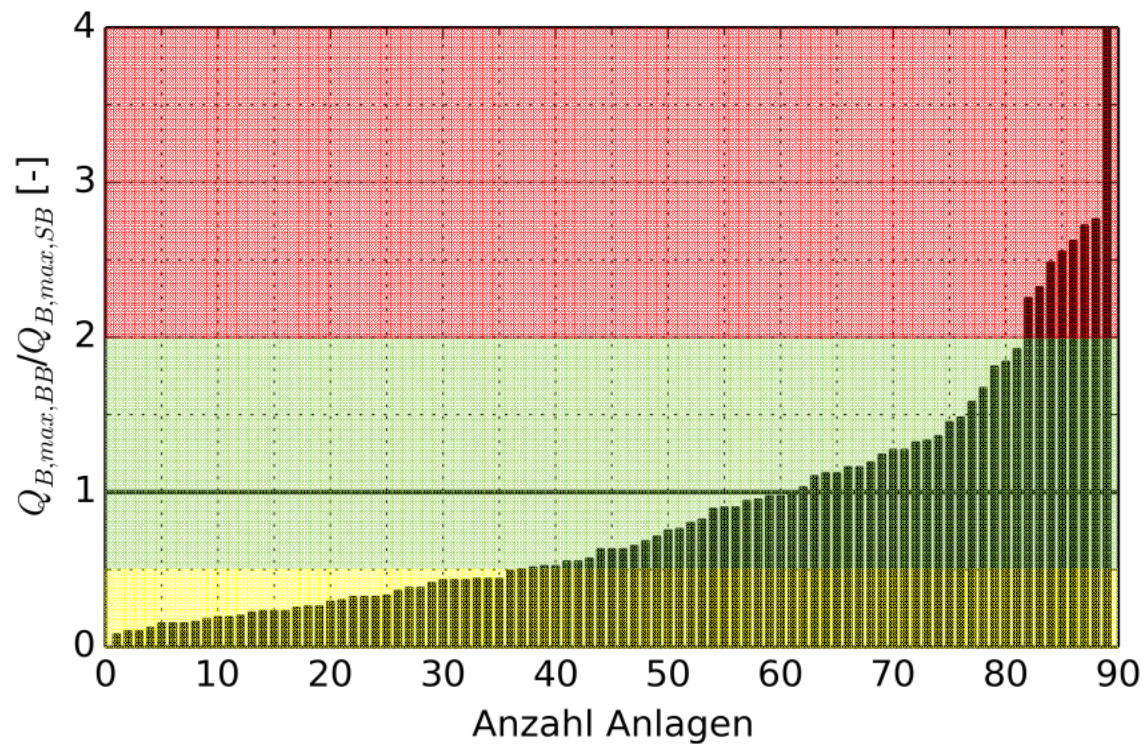


Abb. Vergleich *BASEMENT*, *BASEbreach* und Standardbresche

Resultate *BASEbreach*

Veränderungsfaktor *BASEbreach*/Standardbresche

- Veränderung maximaler Breschenabfluss nach *BASEbreach* ($Q_{B,max,BB}$) im Vergleich zum maximalen Breschenabfluss nach Standardbresche ($Q_{B,max,SB}$)



BB >> SB

Ähnliche Resultate

BB << SB

Abb. Veränderungsfaktor ($Q_{B,max,BB}/Q_{B,max,SB}$) für 89 relevante Anlagen im Kt. Zürich

Anwendungsbereich *BASEbreach*

- *BASEbreach* wurde für die Verhältnisse im Kt. Zürich kalibriert und ist gültig für bestimmte Anwendungsbereiche

Tab. 2. Anwendungsbereiche *BASEbreach*

Parameter	Anwendungsbereich
Stauvolumen V_w	500 - 200'000 m ³
Dammhöhe H_D	1 - 10 m
Dammkronenbreite B_K	0.5 - 12 m
Damböschungsneigung 1: m_D^*	1:1.2 - 1:4
Hochwasserzufluss Q_{in}	0 - 25 m ³ /s
Talform (α_0 -Wert)	1 - 2

* bei unterschiedlichen Neigungen der Wasser- und Luftseite ist der Mittelwert zu wählen

Weiterentwicklung *BASEbreach* (I)

- **Tal-/Speicherform (α_0 - Wert)**
 - Momentan: $1 \leq \alpha_0 \leq 2$ (nicht frei wählbar, abhängig von V_w, H_D)
 - Erweiterung: Talformen $\alpha_0 > 2$ (z.B. V-Täler)
 - Erweiterung: α_0 frei wählbar
- **Erosionsgeschwindigkeit v_e**
 - Momentan nicht frei wählbar (Kalibrierungsparameter)
 - Erweiterung: v_e frei wählbar
- **Hochwasserzufluss**
 - Momentan: $Q_{in} \leq 25 \text{ m}^3/\text{s}$
 - Erweiterung: Grössere Zuflüsse; Annahme zu treffen, was bei vollem Stauraum passiert (z.B. überschüssiger Zufluss dem Breschenabfluss Q_B hinzuzählen)

Weiterentwicklung *BASEbreach* (II)

▪ **Versagensmechanismus**

- Versagen durch Überströmung (*overtopping*) und durch innere Erosion (*piping*) berücksichtigen (unterschiedliche Anfangsphase)
- Anfangsbedingung *Piping*: Grössere Initialbresche, Teilfüllung

▪ **Dammmaterial**

- Erosion *kohäsiver* Dämme: Vertikaler Knickpunkt, welcher von der Luftseite her nach oben wandert (*headcut erosion*)
- Begrenzung der Erosionsbreite bei Erreichen der Widerlager, d.h. Begrenzen der Erosionsbreite

▪ **Unsicherheiten (laufende Forschungsarbeit)**

- Model- und Parameterunsicherheiten quantifizieren
- Resultierende Breschenabflüsse mit Auftretenswahrscheinlichkeit
- Probabilistische Überflutungskarten für Abschätzung der Gefährdung

Schlussfolgerungen

- *BASEbreach* bietet Alternative zum Ansatz mit Standardbresche für progressiven Dammbbruch
- *BASEbreach* momentan auf definierten Anwendungsbereich beschränkt
- Weiterentwicklung *BASEbreach*:
 - Erweiterung Anwendungsbereich
 - Öffnung gewisser Parameter (α_0 , v_e)
 - Erhöhung Benutzerfreundlichkeit (GUI)
 - Berücksichtigung von Unsicherheiten (probabilistischer Ansatz)

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit

Weiterführende Fragen zur Thematik:
Dr. David Vetsch, vetsch@vaw.baug.ethz.ch

Anhang

Idealisierte Talformen

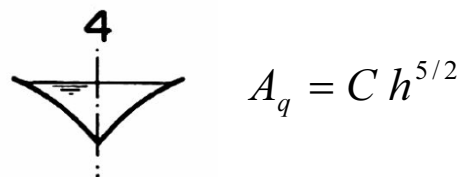
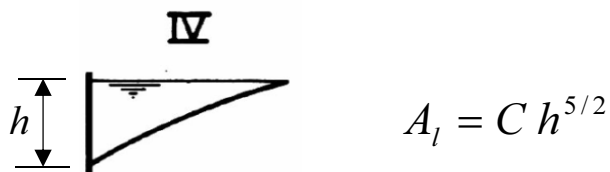
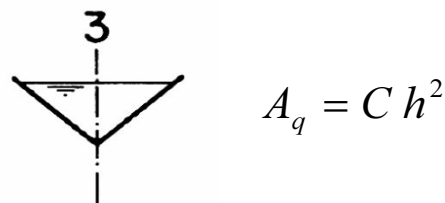
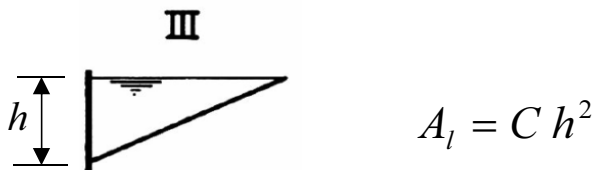
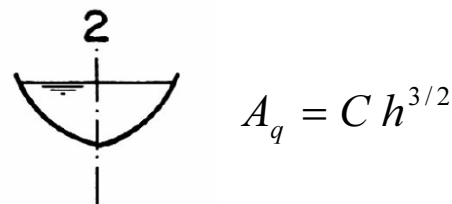
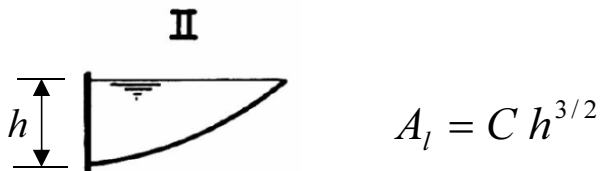
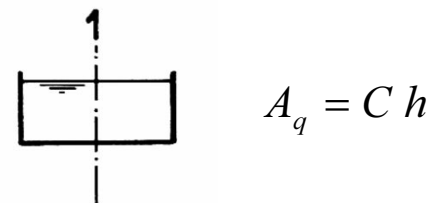
Tallängs- und -querschnitte

$$A_l = C_1 h^l$$

$$A_q = C_2 h^q$$

Hauptschnitt in Talrichtung

Querschnitt des Tals



Talform auch wichtig für
die Berechnung von
Talsperrenbruchwellen
(z.B. De Lorenzo &
Macchione 2014)!

Quelle: Kühne, A. (1978). Charakteristische Kenngrößen Schweizerischer Speicherseen.
Geographica Helvetica, **33**(4), 191-199.

Idealisierte Talformen

Morphologischer Parameter α_0

$$V_w = b_0 z_w^{\alpha_0} \quad \text{mit} \quad \alpha_0 = l + q - 1$$

α_0		Längsschnitt			
		I	II	III	IV
Querschnitt	1	1	1.5	2	2.5
	2	1.5	2*	2.5	3*
	3	2	2.5	3	3.5
	4	2.5	3*	3.5	4*

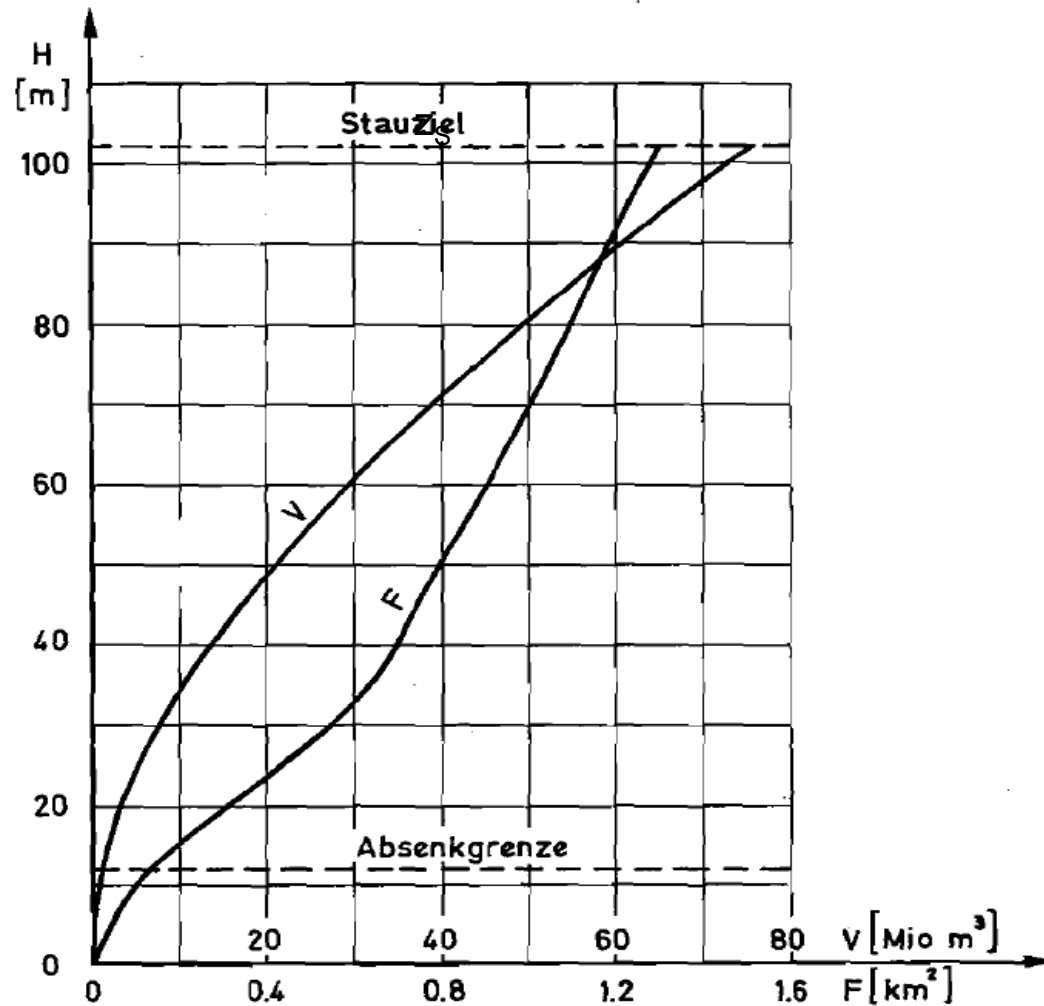
* Beziehung gilt nur angenähert

häufigste Verwendungen

Quelle: Kühne, A. (1978). Charakteristische Kenngrößen Schweizerischer Speicherseen.
Geographica Helvetica, **33**(4), 191-199.

Speicherinhaltslinie, Stauspiegelflächenlinie

Beispiel: Göscheneralpsee



$$V(z_w) = \int_0^{z_s} A(z_w) dh$$

$$V(z_w) = a z_w^b$$

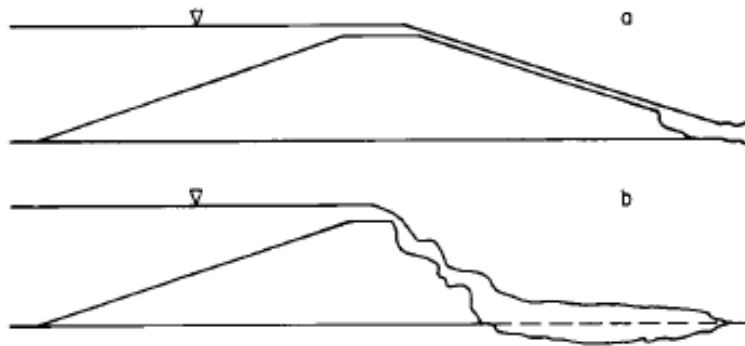
Speicher	V_{\max} (Mio m ³)	a (m ^{3-b})	b (-)
Lac de la Gruyère	200.0	$4.22 \cdot 10^1$	3.56
Grimselsee	101.0	$1.71 \cdot 10^2$	2.89
Schiffenensee	66.0	$5.91 \cdot 10^3$	2.56
Oberaarsee	60.7	$7.07 \cdot 10^2$	2.52
Lac de l'Hongrin	53.2	$2.44 \cdot 10^1$	3.13
Räterischsbodensee	26.3	$4.37 \cdot 10^3$	2.02
Göscheneralpsee	76.0	$1.79 \cdot 10^4$	1.81
Lungernsee	65.0	$1.06 \cdot 10^4$	2.07
Lago di Lucendro	25.6	$2.01 \cdot 10^3$	2.07
Wägitalersee	153.0	$8.43 \cdot 10^4$	1.83
Sihlsee	96.5	$1.76 \cdot 10^5$	2.21
Limmerensee	93.0	$9.41 \cdot 10^3$	1.91
Klöntalersee	56.4	$2.70 \cdot 10^3$	2.59

Quelle: Kühne, A. (1978). Charakteristische Kenngrößen Schweizerischer Speicherseen. *Geographica Helvetica*, **33**(4), 191-199.

Head cut erosion vs. progressive erosion

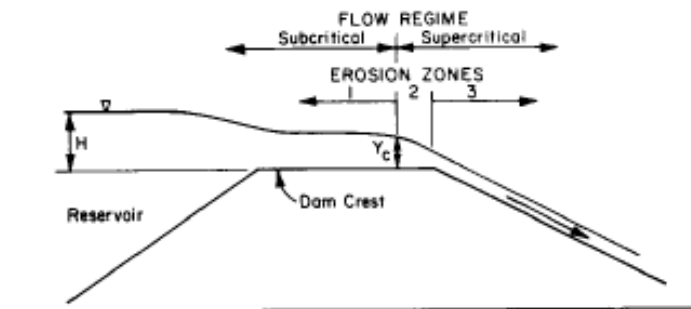
Head cut erosion

- Vertikaler Knickpunkt, welcher von der Luftseite her nach oben wandert
- kohäsives Dammmaterial



Progressive erosion

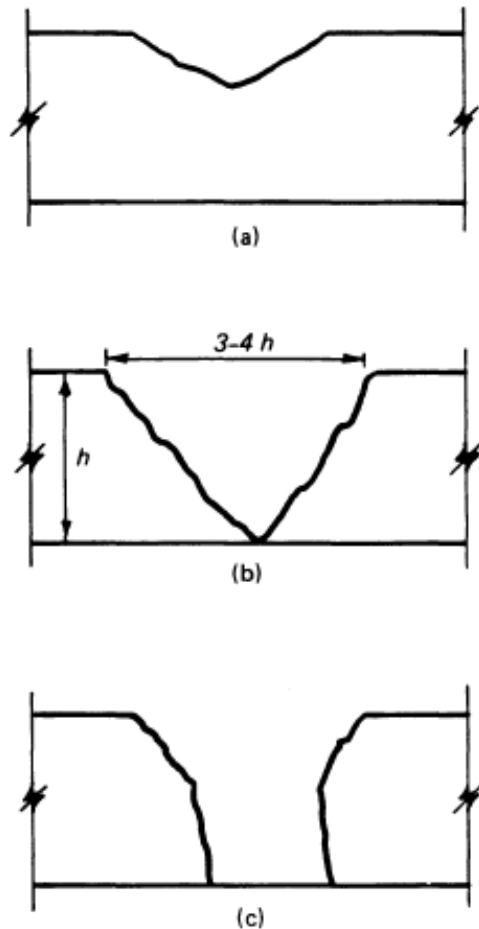
- Progressive Oberflächenerosion
- kohäsionsloses Dammmaterial



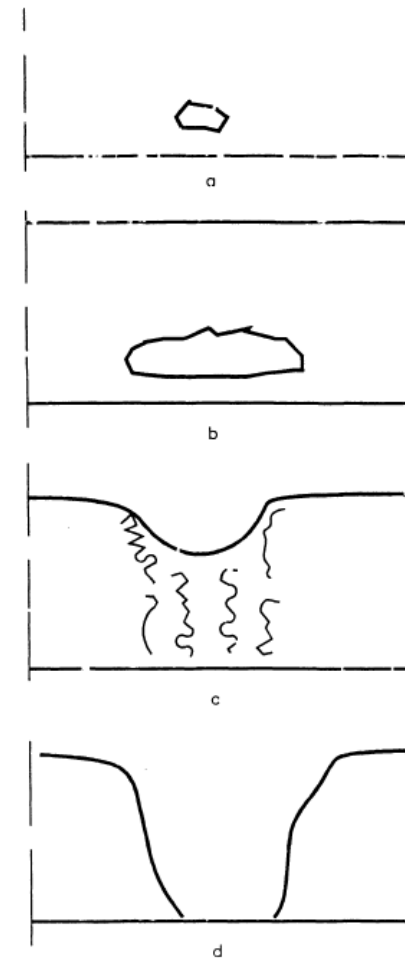
Quelle: Wahl T.L. (1998). Prediction of embankment dam breach parameters. A literature review and needs assessment. *Dam Safety Research Report DSO-98-004*, Water Resources Research Laboratory, Denver, USA.

Versagen durch Überströmung und Innere Erosion

Breschenbildung bei Überströmung



Breschenbildung bei innerer Erosion (Piping)



Quelle: Singh V.P. (1996). *Dam breach modeling technology*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.